



TITLE:

Unconventional properties of the
antiperovskite oxide superconductor Sr-
xSnO and a related compound(Abstract_要
旨)

AUTHOR(S):

Ikeda, Atsutoshi

CITATION:

Ikeda, Atsutoshi. Unconventional properties of the antiperovskite oxide superconductor Sr-xSnO and a related compound. 京都大学, 2020, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2020-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22235>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2020-06-04に公開

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	池田 敦俊
論文題目	Unconventional properties of the antiperovskite oxide superconductor $\text{Sr}_{3-x}\text{SnO}$ and a related compound. (逆ペロブスカイト酸化物超伝導体 $\text{Sr}_{3-x}\text{SnO}$ と関連物質の特異な物性)		
(論文内容の要旨)			
<p>逆ペロブスカイト酸化物は、地球にありふれたペロブスカイト酸化物と同じ構造を持つが、構成元素の酸化数の正負を反転させた物質である。価数反転の結果、珍しいマイナス4価の金属元素が含まれる。本論文では、申請者らが発見した逆ペロブスカイト酸化物初の超伝導体$\text{Sr}_{3-x}\text{SnO}$について、メスバウアー分光でスズの-4価および超伝導相に特徴的なサテライト状態を明らかにし、また、ミューオンスピン分光法で超伝導の磁場侵入長が長いこと等を明らかにした成果を述べている。さらに関連物質で新たに発見した超伝導体についても報告している。</p> <p>第1章「序論」では、近年注目を集めている物質中のトポロジーを紹介し、トポロジーの観点から本論文の題材である$\text{Sr}_{3-x}\text{SnO}$と$\text{CaSb}_2$の位置づけを示している。</p> <p>第2章「関連文献のまとめ」では、逆ペロブスカイト酸化物とCaSb_2についての先行研究をまとめ、特に申請者らが発見した$\text{Sr}_{3-x}\text{SnO}$の超伝導性は詳細に記述されている。</p> <p>第3章「実験」では、測定装置を紹介している。逆ペロブスカイト酸化物は空気中で分解するので、各測定で試料を空気から保護する方法も記述されている。また、メスバウアー分光とミューオンスピン回転の実験原理も簡単にまとめられている。</p> <p>第4章「$\text{Sr}_{3-x}\text{SnO}$のバンド構造計算」では、Srが欠損した物質に対する第一原理計算を行い、フェルミエネルギーの位置を明らかにしたことが述べられている。超伝導性の試料の放射光X線回折での構造解析から、Sr欠損が超周期を組んでいないことが判明した。そのような超周期構造を持たない欠損系についての計算が示されている。</p> <p>第5章「メスバウアー分光によって明らかになった$\text{Sr}_{3-x}\text{SnO}$内のホールドープされたスズの陰イオン状態」では、特異な-4価状態と未知のイオン状態のスズの存在が述べられている。第一原理計算による基準物質との比較解析を行った結果、未知のイオン状態がSrの欠損に隣接したサイトであることを明らかにしている。</p> <p>第6章「μ SRで調査した$\text{Sr}_{3-x}\text{SnO}$の非従来型超伝導の可能性」では、$\text{Sr}_{3-x}\text{SnO}$の超伝導がバルク由来であることや磁場侵入長が長いこと、超伝導ギャップ関数がフルギャップらしいこと、時間反転対称性が超伝導状態でも保たれていることといった、ミューオンスピン分光の結果がまとめられている。</p> <p>第7章「CaSb_2における超伝導の発見」では、独自の方法により合成したCaSb_2試料について、直流・交流磁化率、電気抵抗、比熱によりバルク超伝導の発見を報告している。電気抵抗の磁場依存性から超伝導・常伝導相図を作成し、コヒーレンス長や磁場侵入長といった基本パラメーターを評価している。</p> <p>第8章では「結論」として、第4章から第7章の成果をまとめたのち、$\text{Sr}_{3-x}\text{SnO}$と$\text{CaSb}_2$の研究の将来展望が述べられている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

近年、物質のさまざまな対称性に起因する波動関数のトポロジカルな性質の理解が深化し、トポロジカル物質の分類やその特異な性質が盛んに研究されている。エネルギーギャップをもつトポロジカル絶縁体およびトポロジカル結晶絶縁体だけでなく、エネルギーギャップが閉じたノード点が現れるディラック電子系のトポロジカル半金属、さらにノードが線状に現れるラインノード半金属も注目されている。

超伝導状態もトポロジカルな性質をもちうる。接合系などでの研究も盛んであるが、常伝導状態がトポロジカル物質であって超伝導を示すものは数少なく、さらにトポロジカル超伝導の性質が実証された例はまれである。

本論文は、トポロジカル物質に基づく二つの超伝導体の特性を明らかにした成果をまとめたものである。

主な対象物質は、ディラック電子系トポロジカル結晶絶縁体の候補である、逆ペロブスカイト酸化物で初めて発見された超伝導体である。池田氏が自らその超伝導発見に関わった $\text{Sr}_{3-x}\text{SnO}$ の試料を用いたメスバウアー効果の実験から、酸化物では報告例のなかったスズのマイナス4価イオン状態を明らかにした。ストロンチウムの欠損により超伝導を示す試料では別の吸収線も観測し、これらの吸収線の化学シフトと強度の温度依存性を自ら行った第一原理計算の結果と比較して、スズの局所状態の違いを同定している。

またスイスでミュオンスピン回転の実験を行い、バルク超伝導性を確証するとともに超伝導の基本的性質を明らかにしている。さらに、第一原理計算による電子状態に基づき、共同研究による超伝導対称性理論との比較から、トポロジカル超伝導の実現には強い軌道間相互作用が必要となることなどを議論している。

第二の対象物質である、常伝導の電子状態にラインノードを持つトポロジカル候補物質の CaSb_2 について、超伝導を発見し、比熱、磁化率・磁化、電気抵抗率の測定から、その超伝導の基本的性質を明らかにしている。

両超伝導体で明らかになった性質からは、まだトポロジカル超伝導状態を積極的に決定づける証拠は出ていないものの、トポロジカル物質に基づく数少ない超伝導体を発見し、それらの基本的性質を明らかにした成果は、この分野で注目に値する。池田氏自ら超伝導発見と試料合成、元素欠損系を含む物質に対する電子状態の第一原理計算、メスバウアー実験とミュオン実験のデータ収集およびデータ解析をすべて主体的に行った研究能力は高く評価できる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和2年1月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、公表論文の公開までは、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。